

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
Кружаев В.В.
« ___ » _____ 201__ г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Код ОП	Направление	Направленность (профиль) программы аспирантуры	Квалификация
03.06.01- 01.04.10- 2014	Физика и астрономия	Физика полупроводников	Исследователь. Преподаватель-исследователь

СОГЛАСОВАНО
УПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ
КАДРОВ ВЫСШЕЙ
КВАЛИФИКАЦИИ

Екатеринбург 2019

Программа дисциплины составлена авторами:

№	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	А.В. Германенко	Д.ф.-м.н.	Профессор	Физики конденсированного состояния и наноразмерных систем	
2	А.Н. Бабушкин	Д.ф.-м.н., профессор	Профессор	Физики конденсированного состояния и наноразмерных систем	

Рекомендовано Учебно-методическими советами Института естественных наук и математики

Председатель учебно-методического совета ИЕН

Е.С. Буянова

Протокол № _____ от _____ г.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

Программа дисциплины составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования

Шифр направления	Название направления/направленности	Реквизиты приказа Министерства образования и науки Российской Федерации об утверждении и вводе в действие ФГОС ВПО	
		Дата	Номер приказа
03.06.01	Физика и астрономия/ 01.04.10 – физика полупроводников	30.07.2014	867

1.1. Цели дисциплины

Целью дисциплины «Физика полупроводников» является приобретение основных профессиональных компетенций в ходе углубленного изучения базовых разделов физики полупроводников: зонной структуры полупроводников, статистики и кинетических явлений в полупроводниках, оптических свойств полупроводников, методов исследования.

1.2. Место дисциплины в структуре учебной деятельности и основной образовательной программы

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к разделу Б.1 вариативной части ОП направления аспирантуры и направлена на подготовку к сдаче кандидатского минимума.

В результате освоения данной дисциплины студент должен овладеть следующими компетенциями:

универсальные компетенции:

- способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);

общепрофессиональные компетенции:

- способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- профессиональные компетенции:

научно-исследовательская деятельность:

- способность осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию информации по теме исследования, выбор методов и средств решения задач исследования (ПК-1);
- готовностью использовать современные достижения науки и передовых технологий в научно-исследовательских работах в области физики полупроводников (ПК-3).

2. СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОГО ВРЕМЕНИ

Наименования дисциплины	Семестр	Объем времени, отведенный на освоение дисциплины						
		Аудиторные занятия час.				Самост. работа час.	Аттестация по дисциплине (зачет, экзамен)	Всего час/з.е
		Всего	лекции	практические занятия	лабораторные работы			
Физика полупроводников	6	4	4			104	Экзамен, 6 семестр	108/3
Всего на освоение		4	4			104		108/3

3. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Объем и содержание дисциплины

№ п/п	Тема, раздел	Трудоемкость	
		Час.	Зач. ед.
1	Введение. История открытия полупроводников. Основные свойства полупроводников. Применение полупроводников в науке и технике. Классификация полупроводников. Методы выращивания полупроводниковых кристаллов. Методы получения низкоразмерных структур: двумерных квантовых слоев, квантовых проволок и точек.	2	
2	Атомная структура полупроводников. Внешние оболочки атомов и типы сил связи в твердых тела: ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников – элементарных и соединений типов АЗВ5, А2В6, А4В6. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера—Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, её свойства. Зона Бриллюэна.	8	
3	Механические свойства. Моноатомная линейная цепочка. Двухатомная линейная цепочка. Колебания решетки в трехмерном кристалле. Плотность состояний. Фононы. Локализованные фононные моды. Фононы в сплавах. Термическое расширение. Напряжения и деформации. Биаксиальные деформации. Трехмерные деформации. Скручивание.	8	
4	Зонная структура. Формулировка общей квантово-механической задачи. Роль кулоновского взаимодействия в формировании спектра. Адиабатическое приближение и его применимость. Одноэлектронное приближение. Простейшие модели: одномерный	8	

	ящик и модель Кронига-Пенни. Теорема Блоха. Предсказания моделей и их соответствие реальной ситуации. Зонный характер спектра в модели Кронига-Пенни. Форма краев зон. Характер движения электрона в периодическом потенциале. Групповая скорость. Эффективная масса. Типы зонной структуры в кристаллических телах: металлы, полуметаллы, диэлектрики. Зонная структура конкретных полупроводников. Бесщелевые и узкощелевые полупроводники. Модель Кейна. Модель Латтинжера. Лёгкие и тяжёлые дырки. Влияние внешних воздействий на зонную структуру.		
5	Примеси и дефекты в полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Примеси замещения, внедрения, вакансии. Точечные, линейные и двумерные дефекты. Граница кристалла, как дефект. Мелкие примесные уровни (водородоподобная примесь). Спектр и волновые функции мелких донорных и акцепторных состояний. Спектр слабо- и сильнолегированных полупроводников. Переход Мотта, переход Андерсона.	8	
6	Статистика полупроводников. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Плотность состояний. Эффективная масса плотности состояний. Концентрация носителей заряда в зонах и на локальных уровнях. Интегралы Ферми. Решение уравнения электронейтральности для собственного полупроводника. Решение уравнения электронейтральности в примесном полупроводнике.	8	
7	Явления электронного переноса. Электропроводность. Подвижность. Транспортное время релаксации импульса. Закон Ома в анизотропных полупроводниках. “Дрейфовая” эффективная масса. Тензор электропроводности, эффект Холла и магнитосопротивления. Уравнение Больцмана. Правило усреднения времени релаксации импульса. Эффект Холла и магнитосопротивление. Время релаксации и вероятность квантовых переходов. Рассеяние на ионизированной примеси. Зависимость времени релаксации от энергии для различных механизмов рассеяния. Температурная зависимость подвижности.	8	
8	Магнитные квантовые эффекты. Энергетический спектр электронов и дырок в магнитном поле. Плотность состояний. Учет спина. Осцилляции Шубникова-де Гааза. Определение концентрации и эффективной массы из осцилляций Шубникова-де Газа. Магнитофонный резонанс (МФР). Определение эффективной массы из МФР. Межзонное и примесное магнитное вымораживание носителей. Циклотронный резонанс (классическое рассмотрение).	8	
9	Оптика полупроводников. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса—Кронига. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фонах, рассеяние на	8	

	акустических фонах. Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах. Оптические явления во внешних полях: эффект Франца-Келдыша, эффект Погкельса, эффект Бурштейна-Мосса. эффекты Фарадея и Фойгта.		
10	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.	8	
11	Контактные явления в полупроводниках. Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Диод Шоттки. р-п переход. Энергетическая диаграмма р-п перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в р-п переходе. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.	8	
12	Свойства поверхности полупроводников. Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация. Эффект поля. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.	8	
13	Фотоэлектрические явления. Фотопроводимость. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.	8	
14	Принципы действия полупроводниковых приборов. Вольтамперная характеристика р-п перехода. Приборы с использованием р-п переходов. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Энергетическая диаграмма МДП-структуры. Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью. Шумы в полупроводниковых приборах. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования. Светодиоды и полупроводниковые лазеры.	10	
	ИТОГО	108	3

3.2. Распределение объема учебного времени дисциплины по темам и видам работ

№ п/п	Тема, раздел дисциплины	Объем учебного времени, отведенный на освоение дисциплины з/е/час					
		Аудиторные занятия				Самостоят. работа	Всего по разделам и темам
		всего	в т.ч. лекции	В т.ч. семинар/ практ. занятия	В т.ч. лаб. раб		
1	Введение	2	2				2
2	Атомная структура полупроводников					8	8
3	Механические свойства					8	8
4	Зонная структура					8	8
5	Спектр реальных полупроводников					8	8
6	Статистика полупроводников					8	8
7	Явления электронного переноса					8	8
8	Магнитные квантовые эффекты					8	8
9	Оптика полупроводников					8	8
10	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда					8	8
11	Контактные явления в полупроводниках					8	8
12	Свойства поверхности полупроводников					8	8
13	Фотоэлектрические явления					8	8
14	Принципы действия полупроводниковых приборов	2	2			8	10
Итого по дисциплине		4	4			104	108

3.3. Самостоятельная работа аспирантов

Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень заданий для самостоятельной работы (рефераты, доклады, переводы, расчеты, планирование эксперимента и т.п.)	Трудоемкость	
		Час.	Зач. ед.
Атомная структура полупроводников. Внешние оболочки атомов и типы сил связи в твердых телах: ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников – элементарных и соединений типов А3В5, А2В6, А4В6. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера—Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, её свойства. Зона Бриллюэна. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
Механические свойства. Моноатомная линейная цепочка. Двухатомная линейная цепочка. Колебания решетки в трехмерном кристалле. Плотность состояний. Фононы. Локализованные фононные моды. Фононы в сплавах. Термическое расширение. Напряжения и деформации. Биаксиальные деформации. Трехмерные деформации. Скручивание.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
Зонная структура. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Модель Кронига-Пенни. Теорема Блоха. Предсказания моделей и их соответствие реальной ситуации. Зонный характер спектра в модели Кронига-Пенни. Форма краев зон. Характер движения электрона в периодическом потенциале. Групповая скорость. Эффективная масса. Металлы, полуметаллы, диэлектрики. Зонная структура германия, кремния, арсенида галлия, арсенида индия. Бесщелевые и узкозонные полупроводники. Полуметаллы. Модель Кейна. Модель Латтинжера. Лёгкие и тяжёлые дырки.	Анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (подготовка доклада).	8	

<p>Спектр реальных полупроводников. Классификация дефектов. Примеси замещения, внедрения, вакансии, граница кристалла, как дефект. Мелкие примесные уровни. Спектр и волновые функции мелких донорных и акцепторных состояний. Спектр слабо- и сильнолегированных полупроводников. Переход Мотта, переход Андерсона.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Статистика полупроводников. Решение уравнения электронейтральности для собственного полупроводника. Температурная зависимость концентрации электронов и дырок в примесном полупроводнике с одним и двумя сортами примеси.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Явления электронного переноса. Уравнение Больцмана. Правило усреднения времени релаксации импульса. Эффект Холла и магнитосопротивление для вырожденного и вырожденного электронного газа. Время релаксации и вероятность квантовых переходов. Рассеяние на ионизированной примеси. Зависимость времени релаксации от энергии для различных механизмов рассеяния. Температурная зависимость подвижности.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Магнитные квантовые эффекты. Энергетический спектр электронов и дырок в магнитном поле. Плотность состояний. Учет спина. Осцилляции Шубникова-де Гааза. Условия наблюдения. Определение концентрации и эффективной массы из осцилляций Шубникова-де Газа. Магнитофононный резонанс. Определение эффективной массы из МФР. Межзонное и примесное магнитное вымораживание носителей. Циклотронный резонанс.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Оптика полупроводников. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса—Кронига. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки,</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	

<p>комбинационное рассеяние на оптических фонах, рассеяние на акустических фонах. Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах. Оптические явления во внешних полях: эффект Франца-Келдыша, эффект Поккельса, эффект Бурштейна-Мосса. эффекты Фарадея и Фойгта.</p>			
<p>Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзональная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиплярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Контактные явления в полупроводниках. Схема энергетических зон в контакте металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Диод Шоттки. р-п переход. Энергетическая диаграмма р-п перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в р-п переходе. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Свойства поверхности полупроводников. Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация. Эффект поля. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	
<p>Фотоэлектрические явления. Фотопроводимость. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводи-</p>	<p>Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).</p>	8	

мость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.			
Принципы действия полупроводниковых приборов. Вольтамперная характеристика р-п перехода. Приборы с использованием р-п переходов. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Энергетическая диаграмма МДП-структуры. Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью. Шумы в полупроводниковых приборах. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования. Светодиоды и полупроводниковые лазеры.	Работа с рекомендованной литературой, анализ реферативных журналов и электронных источников с учетом содержания дисциплины (написание конспектов).	8	
ИТОГО		104	

4. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНИВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Объективная оценка уровня соответствия результатов обучения требованиям к освоению ОП обеспечивается системой разработанных критериев (показателей) оценки освоения знаний, сформированности умений и опыта выполнения профессиональных задач.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, тре-	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением ис-

	выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	бующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	следователских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Рекомендуемая литература

5.1.1 Основная литература

1. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. Лань. 2008. – 624 с.
2. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. Лань. 2010. – 400 с.
3. Г.Г. Зегря, В.И. Перель. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит. 2009. – 336 с.
4. А.И. Лебедев. Физика полупроводниковых приборов. М.: Физматлит. 2008. – 488 с.
5. М. Грундман. Основы физики полупроводников. Нанопизика и технические приложения. М.: Физматлит. 2012. – 778 с.

5.1.2 Дополнительная литература

1. Й. Имри. Введение в мезоскопическую физику. М: Физматлит. 2002. - 304 с.
2. Б.И.Шкловский, А.Л.Эфрос. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука. 1979. – 416 с.
3. К. Зеегер. Физика полупроводников. М.: Мир. 1977. – 615 с.
4. П.С. Киреев. Физика полупроводников. М.: Высшая школа. 1975. – 584 с.
5. Дж. Блекмор. Статистика электронов в полупроводниках. М.: Мир, 1964.
6. Р. Смит. Полупроводники. М.: Мир, 1982.
7. Дж. Займан, Принципы теории твердого тела, М.: Мир, 1966
8. Ч. Киттель, Введение в физику твердого тела, М.: Наука, 1978
9. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников, Физика полупроводников, М.: Наука, 1977.
10. В.Л. Бонч-Бруевич, Сборник задач по физике полупроводников, М.: Наука, 1987.
11. Питер Ю, Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников. М.: Физматлит. 2002. - 373 с.
12. В.Л. Бонч-Бруевич, И.П. Звягин, И.В. Карпенко, А.Г. Миронов. Сборник задач по физике полупроводников. М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1987. – 144 с.

5.2. Электронные образовательные ресурсы

Зональная научная библиотека <http://library.urfu.ru/>

Каталоги библиотеки <http://library.urfu.ru/about/department/catalog/rescatalog/>

Электронный каталог <http://library.urfu.ru/resources/ec/>

Ресурсы <http://library.urfu.ru/resources>

Поиск <http://library.urfu.ru/search>;

5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Электронные ресурсы ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;

Электронные ресурсы Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;

Электронные ресурсы ScienceDirect: <http://www.scifinder.com>

Электронные ресурсы Web of Science: <http://reaxys.org>